

使用済み燃料プール（S F P）
スプレイ冷却ループ及び可視化試験装置の製作
仕様書

平成27年10月

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門
原子力基礎工学研究センター
軽水炉基盤技術開発ディビジョン
熱流動技術開発グループ

I 一般仕様

1. 目的

本件は経済産業省資源エネルギー庁受託事業「発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業—重大事故解析手法の高度化」の一環として実施するものである。

福島第一原子力発電所事故では、使用済み燃料プールの冷却維持に関する問題が発生した。このため、使用済み燃料プールにおける燃料集合体の冠水維持が困難な状況において、可搬型スプレイ設備を用いた冷却による燃料損傷緩和が期待されている。本仕様書は、燃料冷却に重要な気液対向流制限現象を調べるため、スプレイ冷却試験ループ及び燃料バンドルを模擬した可視化試験装置を製作するためのものである。

2. 契約作業項目

- (1) 燃使用済み燃料プール（S F P）スプレイ冷却ループ及び可視化試験装置の設計、製作、搬入及び現場据え付け
- (2) 試験・検査

3. 提出図書

図面、書類等の書式は特に指定しないが、書類は原則としてA4サイズとし、図面サイズはできるだけ統一すること。

(1) 承認図	製作着手前	5 部
(2) 工程表	契約後速やかに	5 部
(3) 打合せ議事録	随 時	5 部
(4) 製作要領書	製作着手前	5 部
(5) 各種設計計算書	製作着手前	5 部
(6) 試験検査要領書	検査着手前	5 部
(7) 試験検査成績表	納入時	5 部
(8) 完成図書（取扱説明書含む）	納入時	5 部
(9) その他発注者が指定するもの	必要部数	

4. 引渡条件

6 の検収条件を満足した時点で原子力機構への引渡しを承認する。

5. 納入場所

茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所 二相流ループ実験棟大実験室

6. 検収条件

III に列配する試験検査に合格し、提出書類の内容の確認をもって検収とする。

7. 希望納期

平成 28 年 3 月 25 日（金）

8. 適用または準拠すべき法令等

- (1) 労働安全衛生法
- (2) 鋼構造規格
- (3) 日本工業規格
- (4) 日本電気工業会標準規格
- (5) 日本電線工業会規格
- (6) 電気事業法
- (7) 東海研究所 電気工作物保安規程
- (8) ボイラー及び圧力容器安全規格
- (9) その他の関連法令及び規格

9. 特記事項

- (1) 受注者は、作業期間中の事故災害の防止と作業の安全を確保するための必要な措置を講ずること。
- (2) 作業期間中、不具合や問題が生じた場合は遅滞なく原子力機構に報告し、協議を行って作業の円滑化を図ること。なお、協議内容は議事録とし、これを報告書の補足とすること。
- (3) その他、仕様書等に定めない事項については当方と協議の上決定とする。

10. 保 証

検収後、天災等を除く 1 年以内に発生した契約範囲の破損について、無償にて速やかに修理、又は交換を行うこと。

II スプレー冷却ループ及び可視化試験装置の製作

図 1 に示すように、可視化試験装置は試験ループに接続して使用され、試験容器、スプレー噴水及び模擬燃料集合体から構成される。

(1) 試験ループ 1

本品は、試験容器の水張り及びスプレーノズルに水を提供するための装置である。本ループは貯水タンク、ポンプ、温水加熱器及び配管から構成される。本製作品の使用条件は以下の通りである。

使用圧力： 大気圧

使用流体： 水

数 量： 1 式

材 料： SUS304 相当品

特記事項：①スプレー水最大流量 1.5 kg/s, スプレー水最高温度 90℃を考慮してループを設計すること。

②スプレーノズルが目つまりしないよう、ループにフィルターを設けること。

③所定のスプレー水温になるよう、温水加熱器ヒータや貯水タンクヒータ出力が自動制御できること。スプレー水温の制御点はスプレーの直前の水温とすること。

④スプレー流量が自動制御できること。

⑤次年度のフル高さ試験体（全長 4000mm）を考慮してループを設計すること。

⑥制御盤や計測センサ端子盤を設置すること。制御盤には、各種ヒータの ON/OFF ランプ、各種インタロックの警報ランプ、流量・圧力・温度等の指示値表示パネルを設けること。

⑦ループ全体に保温を施すこと。また必要に応じて温度補償用ヒータを設けること。

(1.1) 貯水タンク

体 積：1m³

材 質：耐腐食性材料

数 量：1 基

特記事項：①タンク水を冷やすための冷却管を有すること。詳細について別途協議の上決定する。

②タンク水を昇温するためのヒータを設置すること。詳細について別途協議の上決定する。

③タンク水温 2 点を計測すること。

④タンクヒータ出力が自動制御できること。

⑤水位が分かるように水位計を設置すること。水位計精度は mm オーダーであること。

(1.2) ポンプ

材 質：耐腐食性材料

作動流体：水

吐出量： 150L/min

特記事項：①スプレイノズルによる水噴出ができるように、スプレイノズル直前圧力は最大 0.3Mpa まで調節可能のこと。

②作動流体温度上限ができるだけ高いものを選定すること。

③ポンプ吸い込み水頭を十分確保できること。

④ポンプ吐出圧力を現場表示すること。

⑤ポンプ前後水温を熱電対を用いて計測すること。

⑥ポンプ出口流量を現場指示すること。

(1.3) 温水加熱器

材 質：耐腐食性材料

数 量：1 基

特記事項：①タンクヒータと合わせて、1.5 kg/s の水を 90℃まで加熱できるヒータを設置すること。ポンプの使用温度には上限があるので、貯水タンクでの水温の最高値はポンプの使用温度上限未満とし、残りの昇温部分を温水加熱器で行うように昇温の配分を考えること。

②温水加熱器入口直前に流量計を設置すること。

③温水加熱器前後温度を計測すること。また、ヒータ温度をモニターし、ヒータ温度高でヒータ電源を OFF する制御をかけること。

④温水加熱器ヒータ出力が自動制御できること。

⑤温度昇温後に均一な流体温度が得られる構造であること。

(2) 試験ループ 2

試験ループ 2 は、試験容器と燃料集合体との間の水張り、及び保温層として導入する飽和水を供給、循環するためのものである。本ループはタンク、ポンプ、温水加熱器及び配管から構成される。本試験ループに関して、平成 27 年度に下記条件に基に設計作業を実施すること。

使用圧力： 大気圧

使用流体： 水

数 量： 1 式

使用温度： 100℃

材 料： SUS316 相当品

特記事項：①試験容器に入る水温度が 100 度になるようにループを設計すること。タンクヒータ及び加熱器ヒータ出力が自動制御できること。
②温水加熱器から出てくる流量を現場指示すること。
③次年度のフル高さ試験体（全長 4000mm）を考慮してループを設計すること。
④試験容器に入る入口接続配管及び試験容器から出てくる出口配管には温度計を各一点設置し、温度を計測すること。
⑤制御盤や計測センサ端子盤を設置すること。
⑥ループ全体に保温を施すこと。試験容器から出てくる水が 100 度より低くならないように、必要に応じ保温ヒータを巻くこと。保温ヒータを使用する場合は、試験容器出口水温を制御点として、サイリスタによる温度制御が可能とすること。

(2.1) タンク

体 積：200L

数量：1 基

材質：SUS316 相当品

特記事項：①タンク水を冷やすための冷却管を有すること。詳細については別途協議の上決定する。
②タンク水を加熱するためのヒータを設置すること。タンク水温を計測すること。タンクヒータが自動制御できること。詳細については別途協議の上決定する
③配管予備用ノズルを 2 個設置すること。詳細については別途協議の上決定する。

(2.2) ポンプ

材 質：耐腐食性材料

作動流体：水

特記事項：①ポンプ吸い込み水頭を十分確保すること。
②作動流体温度上限ができるだけ高いものを選定すること。
③ポンプ吐出圧力を現場表示すること。ポンプ前後水温を熱電対を用いて計測すること。

(2.3) 温水加熱器

材 質：耐腐食性材料

数 量：1 基

特記事項：①試験容器に入る水温度が 100 度になるように温水加熱器を設置すること。
ポンプの使用温度には上限があるので、タンクでの水温の最高値はポンプの使用温度上限未満とし、残りの昇温部分を温水加熱器で行うように昇温の配分を考えること。詳細については別途協議の上決定する。
③温水加熱器前後温度を計測すること。また、ヒータ温度をモニターし、ヒータ温度高でヒータ電源を OFF する制御をかけること。温水加熱器ヒータ出力が自動制御できること。
④温度昇温後に均一な流体温度が得られる構造であること。

(3) 空気配管

材 質：SUS304 相当品

数 量：1 基

最大流量：0.05 kg/s

特記事項：①本品は、下部タイプレートの上部に設置され、集合体内に空気を注入するためのものである。

②空気配管はT P T Fの既設二相流ループに設置してあるコンプレッサーに接続して使用される。受注者は、既設二相流ループへの本配管の接続を行うこと。また、接続が正常であり、空気を既設部から本試験装置に供給できることを確認すること。

③配管内を流れる空気の温度、流量及び圧力を計測するため、φ1mm シース付き K 型熱電対を 1 本、最大流量 0.05 kg/s を計測できる流量計を 1 台、最高圧力 5 気圧を計測できる圧力計 1 台を原子力機構が指定する配管位置に設置すること。

(4) スプレー噴水及び関連配管

本品は、試験容器の上に設置し、スプレー水を噴出するための装置である。本製作品の使用条件は以下の通りである。

使用圧力： 大気圧

使用流体： 水

数 量： 1 式

最大流量： ～ 1.5 kg/s

最高使用温度： ～90℃

特記事項：①スプレー設置高さは模擬燃料集合体出口より 0.15m から 0.5m まで、調節が可能であること。

②噴出液滴サイズが異なった 3 種類のスプレーノズルを用意すること。詳細について別途協議の上決定する。

③スプレー流量及び温度が自動制御できること。

④スプレー水流量・温度を計測すること。流量計に関して低流量、高流量計測用に二台設置すること。詳細について別途協議の上決定する。

⑤スプレー配管に保温を施すこと。

(5) 模擬燃料集合体

本品は、試験容器下部に設置し、模擬燃料棒、スペーサ、チャンネルボックス、上部タイプレート、下部タイプレートから構成する。図 2 に示すように 5 × 5 模擬燃料集合体である。

本製作品の使用条件は以下の通りである。

使用圧力：大気圧

使用流体：水－空気

(5.1) 模擬燃料棒

模擬燃料棒の情報を表 1 及び図 2 に示す。

数 量：25 本/セット、全 3 セット

寸 法：直径 12 mm、長さ約 2,000 mm

材 質：sus304

特記事項：①燃料棒が長時間で曲がることなく、鉛直方向に真直にあることを保てるように十分な強度を持つこと。

②表面粗さを 2000 番、500 番及び 100 番研磨したものを三セット用意すること。

③液膜流量計測部を 16 本の模擬燃料棒に取り付ける。設置する模擬燃料棒は中空とし、液膜流計測部は焼結金属で製作し、表面を流れている液膜を模擬燃料棒内部へ導入できるようにする。計測する模擬燃料棒は、下部に液膜流量計測装置（図 4）を接続し、液相流量及び気相流量を計測できるようにする。液膜流量計測装置は計測する液膜流量計測用模擬燃料棒に付け替えながら使用する。なお計測しない液膜流計測用模擬燃料棒は封をし、液相が模擬燃料棒内部に進入出来ない構造とする。液膜流量計測用模擬燃料棒の位置は別途協議の上決定する。

表 1 模擬燃料棒

配列	5×5
燃料棒本数	25 本（内 16 本は液膜計測に使用）
燃料棒ピッチ	15.3mm
燃料棒外径	12mm

(5.2) スペーサ

本品は、模擬燃料集合体内に設置され、集合体を構成する各模擬燃料棒間のクリアランスを一定に保つために使用される。

型 式：格子型スペーサ

数 量：3 個/セット、全 3 セット

材 質：sus304

概略寸法：75mm×75mm×20 mm

特記事項：①模擬燃料棒が長期間にわたって偏芯しないような構造であること。

②設置する位置の詳細については別途協議の上決定する。

③実機模擬を含めて、形状については別途協議の上決定する。

(5.3) 上部タイプレート

本品は、チャンネルボックスの上部に設置され、集合体を構成する各模擬燃料棒を固定するために使用される。上部タイプレートには開口部が設けており、スプレーからの噴水が燃料集合体内に流入できる構造である。

数 量：5 個

材 質：sus304

概略寸法：75mm×75mm×25 mm

特記事項：①実機模擬を含めて開口割合及び穴径の分布を変えた五種類のものを用意すること。詳細については別途協議の上決定する。

(5.4) 下部タイプレート

本品は、チャンネルボックスの下部に設置され、集合体を構成する各模擬燃料棒を固定するために使用される。開口部が設けており、下部からの水が燃料集合体内に流入できる構造となっている。実機模擬を含めて、断面構造の詳細については別途協議の上決定する。

数 量：1 個/セット、全 3 セット

材 質：SUS304
概略寸法：75mm×75mm×20 mm

(5.5) チャンネルボックス

本品は、模擬燃料集合体全体を取り囲む四角い容器である。

数 量：1 式

概略寸法：80mm ×80mm×2,000mm

材 質：アクリル相当品

特記事項：①模擬燃料集合体を収納できる構造であること。

②外から内部の気液二相流が観察できること。

③上部タイプレートからチャンネルボックス上部出口までの高さは 20mm から 50mm まで三段階調節が可能であること。詳細については別途協議の上決定する。

④チャンネルボックス内水位が一定に保てるように、水位センサ、開度自動調整可能のバルブ及び配管を設置すること。

⑤チャンネルボックス下部から流出する水の量を計測するための貯水タンク及び貯水開始終了をコントロールするためのバルブを設置すること。

⑥上記の貯水開始終了をコントロールするためのバルブの開閉は制御盤から制御できること。制御盤からの手動閉命令によってバルブを閉めて、水を貯めさせ始める機能を有すること。また、水位高によってバルブが自動的に開いて水を排出できること。

⑦上記の貯水タンクに差圧計を設置し、その水位を監視、計測できること。貯水タンクの温度、水位及び水貯め時間（バブル閉から開までの時間）を記録できること。また、2種類の詰め物を用意し、タンクの貯水容量を調節すること。詳細については別途協議の上決定する。

⑧チャンネルボックス下部に空気や蒸気を流入するためのノズルを設置すること。空気流量を計測すること。

⑨差圧タップを 5 か所設け、差圧を計測すること。設置位置の詳細については別途協議の上決定する。

⑩チャンネルボックス下部圧力を計測すること。

⑪熱電対を 5 点設置して、温度を計測すること。設置位置の詳細については別途協議の上決定する。

⑫上部タイプレート上方にプローブ式ボイド率計二点(別途支給)を設置し、トラバースによって流路横及び縦方向のボイド率計測が可能である構造とすること。トラバースの範囲は流路側壁から対面する側壁までとする。詳細については別途協議の上決定する。

⑬上部タイプレート上下部分ではレーザー流速計を用いた速度分布計測を行うため、チャンネルボックスは計測しやすい構造であること。

(5.6) 試験容器

本品は、試験ループに接続して使用する。容器上部にスプレイを設置し、スプレイ水を容器内に噴射する。チャンネルボックス外部に落ちたスプレイ水を試験ループに戻すこと。

使用圧力：大気圧

使用流体：水—空気

数 量：1 式

形 状：図 3 参照

数 量：1 式

概略寸法：1200mm×1200mm×500 mm

特記事項：①チャンネルボックスの挿入、取り出しが容易な構造であること。

②燃料集合体外部に落ちたスプレイ水量を計測するための貯水タンク及び貯水開始終了をコントロールするためのバルブを設置すること。

③燃料集合体から溢れた水を計測するための貯水タンク及び貯水開始終了をコントロールするためのバルブを設置すること。

④上記のバルブの開閉は制御盤から制御できること。制御盤からの手動閉命令によってバルブを閉めて、水を貯めさせ始めることとする。また、水位が高位になっていたらバルブが自動的に開いて水を排出できること。

⑤上記二つの貯水タンクに差圧計を設置し、その水位を監視、計測できること。貯水タンクの温度、水位及び水貯める時間（バブル閉から開までの時間）を記録すること。また、2種類の詰め物を用意し、タンクの貯水容量を調節すること。

⑥チャンネルボックスの上部タイプレート近傍はレーザーとバックライトを光源とし、高速度カメラを用いて可視化を行う。配置は正面よりカメラ、側面よりレーザー、裏面よりバックライトとなる。可視化画像を撮影する際、試験容器表面の反射により外側の光が画像に写り込まないような構造とすること。またレーザー光が撮影面と平行になるようにレーザー光を入射できる構造とすること。

(6) その他

①スプレイ水流量・温度、予熱器などの出力が制御するための制御盤を設置すること。計測センサ端子盤から制御盤までの配線も受注者が行うこと。詳細については別途協議の上決定する。

②計測本試験装置に設置する計測器及び点数は次のとおり。各計測センサを収納する中継端子盤を設置すること。計測センサ端子盤までの配線は受注者が行うこと。各計測器の測定レンジについては別途協議の上決定する。

- ・圧力計・・・6 点
- ・差圧計・・・5 点
- ・温度計・・・25 点
- ・水位計・・・1 点
- ・流量計・・・8 点

③図 3 に示す観察維持に観察用架台を設置すること。特に、チャンネルボックスの最上端部分ではレーザー流速計を用いた速度分布計測を行うため、計測しやすい構造であること。設置位置の詳細については別途協議の上決定する。

④次年度にフル高さ発熱模擬燃料集合体を製作し、試験を実施する予定があるため、次年度のフル高さ試験体（全長 4000mm）を考慮してループを設計すること。

⑤各仕様に示す寸法等の数値は概略であり、詳細は原子力機構が別途提示する。

III 試験検査

下記の検査については、予め受注者が作成した試験検査要領書を原子力機構に提出し、承認を得た上で実施すること。

- (1) 外観・寸法検査
- (2) 員数検査

- (3) 材料検査
- (4) 耐圧試験
- (5) 電氣的諸検査
- (6) 仕様確認試験

ループ、スプレイ試運転。スプレイが所定温度・流量の制御が可能であることを確認すること。

IV 搬入

試験装置は原子力機構が指定する場所に搬入、設置のこと。

V 貸与等

以下に示すものを無償にて貸与及び支給する。

貸与：天井走行クレーン

支給：作業用電力

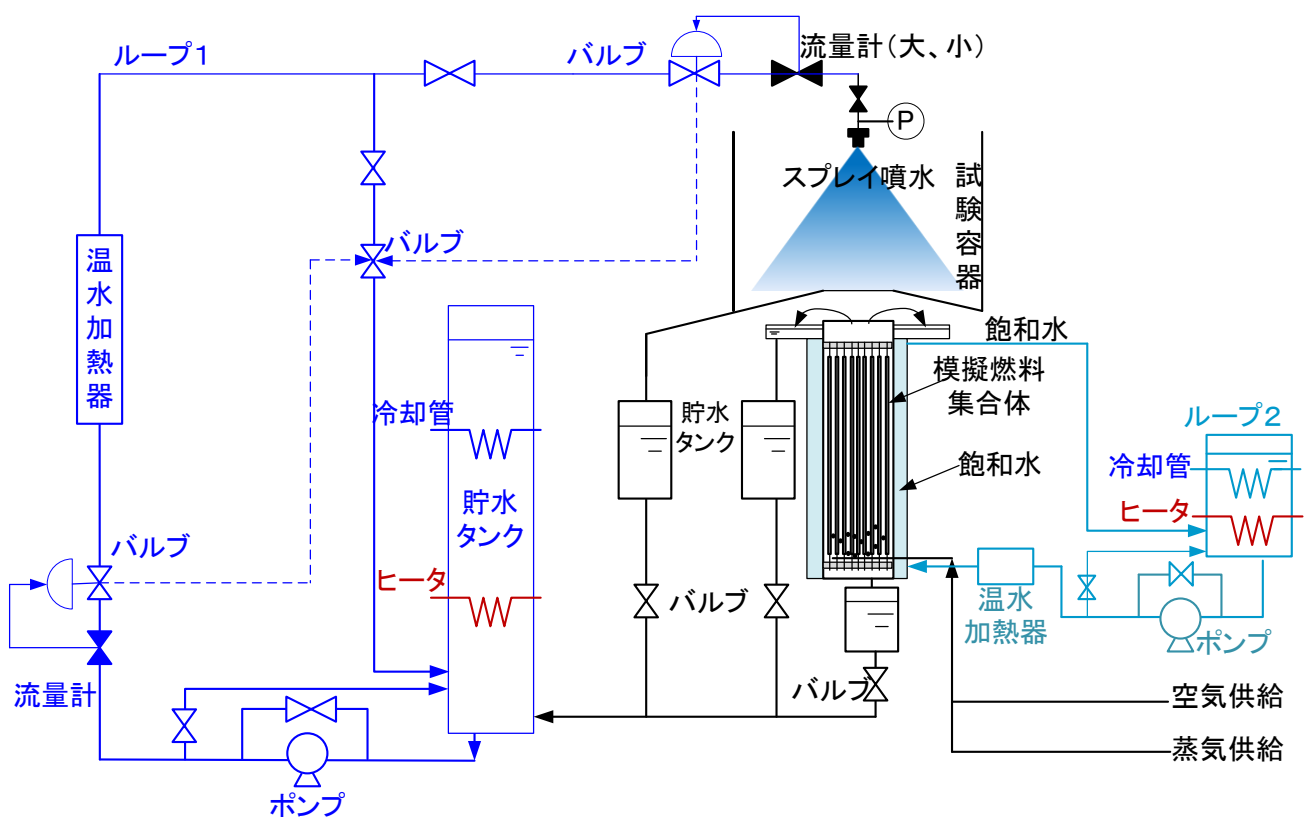


図1 ループ配置概略図

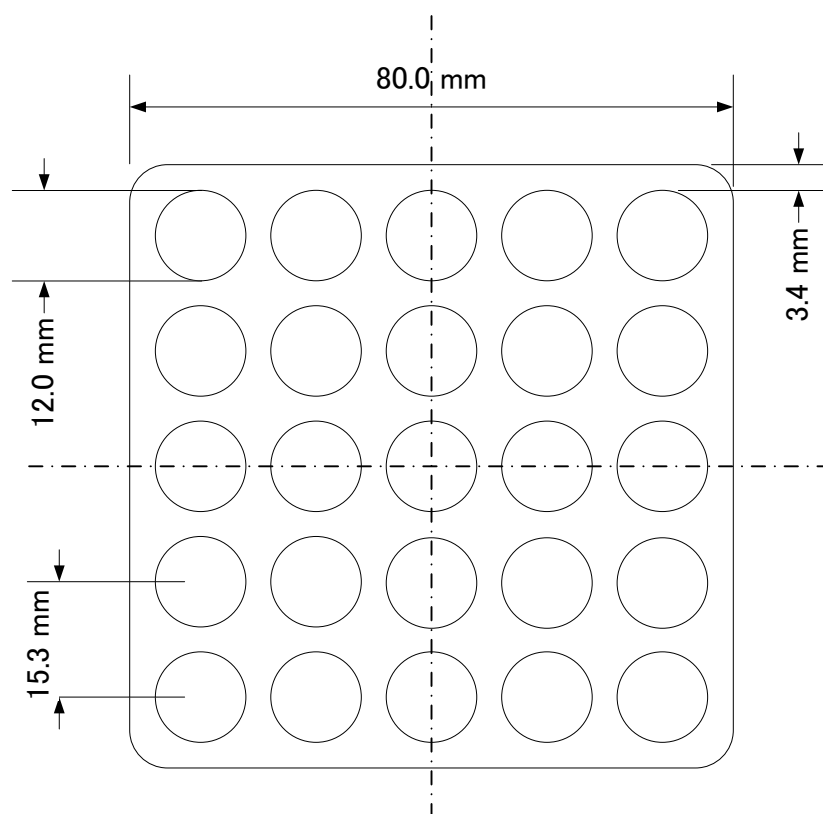


图2 模拟燃料集合体

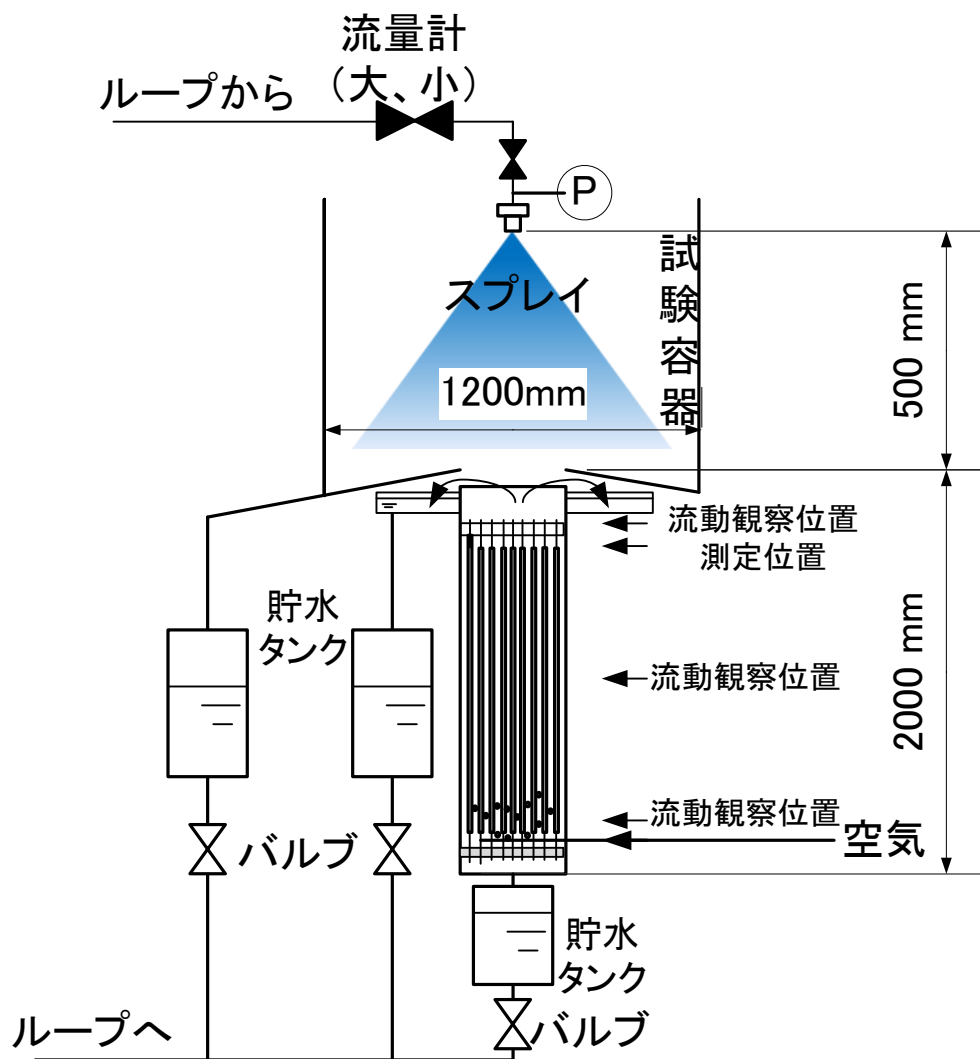


図3 可視化試験装置概略図

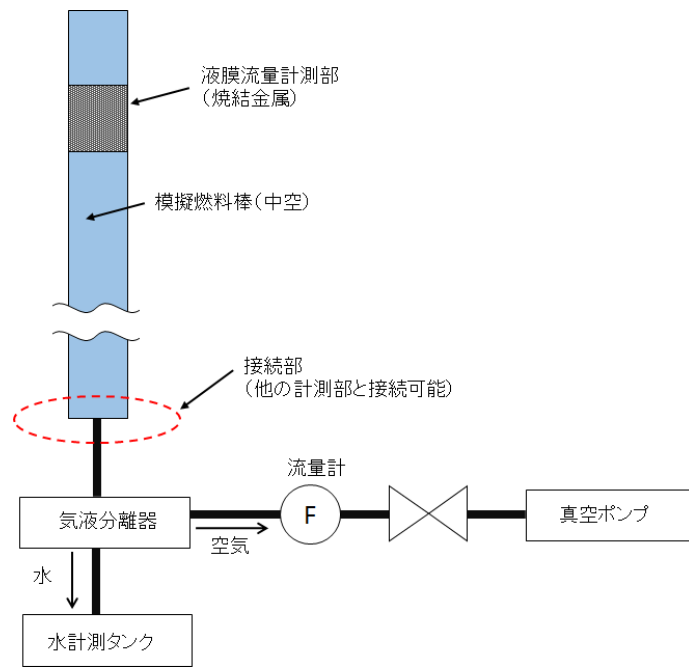


図4 液膜流量計測部概要